

## **ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE UMA USINA TERMELÉTRICA A GÁS NATURAL EM CICLO COMBINADO: UMA ABORDAGEM PELA TEORIA DAS OPÇÕES REAIS**

**SILVA, Nehemias Anastacio Santos<sup>1</sup>; SILVA, Grazyelle Anastácia Santos<sup>2</sup>; SILVA,  
Antônio Francisco de Almeida<sup>3</sup>; PONTES, Karen Valverde<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Departamento de Administração, Universidade Tiradentes, nehemiasass@gmail.com

<sup>2</sup> Programa de Pós-graduação em Engenharia Industrial, Universidade Federal da Bahia, grazyeconomia@yahoo.com.br

<sup>3</sup> Programa de Pós-graduação em Engenharia Industrial, Universidade Federal da Bahia, afranc13@gmail.com

<sup>4</sup> Programa de Pós-graduação em Engenharia Industrial, Universidade Federal da Bahia, karenpontes@ufba.br

**Resumo:** A proposta deste trabalho foi analisar uma opção de expansão para um investimento em projeto de uma usina termelétrica a gás natural com uso de tecnologia a ciclo combinado por meio da aplicação da teoria das opções reais. O primeiro passo foi à construção do FCD do projeto sem flexibilidade. Estimada a volatilidade do retorno do projeto, foi calculado o valor da opção real. A análise indicou que o valor da opção de expansão aumentou o valor do projeto, de R\$ 207.709.992,00 para R\$ 308.513.601,1. Provando, assim, que o melhor caminho a ser tomado é expandir o projeto, tendo em vista que a incerteza permanece estável. Pelas análises expostas acima, conclui-se que, tanto a TOR quanto a análise pelas métricas de risco do VPL, afirmam a viabilidade econômica do projeto em estudo.

**Palavras-chave:** Opções reais; Opção de expansão; Investimento; Termelétrica.

## **ANALYSIS OF ECONOMICAL FEASIBILITY OF A THERMELECTRIC PLANT TO COMBINED CYCLE NATURAL GAS: AN APPROACH TO THE REAL OPTION THEORY**

**Abstract:** The proposal of this work was applied in order to allow investment in a long-term power plant project. Natural gas using combined cycle technology through the application of the response. The first step was to build the DCF of the project without flawlessness. When estimating the volatility of the project return, the value of the real option was calculated. An analysis indicating the value of the expansion option increased the value of the project, from R \$ 207,709,992.00 to R \$ 308,513,601.1. Proving, therefore, the best way for the development of a project, given that the uncertainty remains stable. From the analysis presented above, it is concluded that both a TOR and an analysis by NPV risk metrics assert an economic viability of the project under study.

**Keywords:** Real Options, Expansion Option, Investment, Thermoelectric.

## 1 Introdução

O aumento da inserção de Centrais térmicas na composição da matriz energética brasileira, principalmente a gás natural com uso de tecnologia de ciclo combinado tem sido cada vez mais crescente. Sendo vista como uma alternativa em substituição ao sistema hidráulico, em períodos de secas nos reservatórios, assim, a expansão de instalações de plantas termelétrica tem sido alvo de grande interesse por parte da comunidade científica como também pelos geradores. Tendo em vista, que o uso da tecnologia á ciclo combinado possibilita uma maior eficiência energética, permitindo um maior rendimento na transformação de energia térmica em energia elétrica, nesse tipo de Usina. A expansão desse setor tem levado ao aumento da concorrência no mercado e a necessidade de instrumentos de análise econômico financeiro em empreendimento em térmicas.

Nessa corrida mundial em relação ao setor de energia elétrica com a introdução da competição entre os produtores, baseada em uma estrutura de mercado. Desse modo, os agentes ficam expostos a riscos financeiros maiores, diferentes daqueles existentes quando a estrutura do setor era embasada no monopólio estatal.

O conceito de opções, desenvolvido no mercado financeiro, também tem sido usado em avaliações de investimentos em ativos fixos, como edifícios e equipamentos. Um projeto de investimento pode ser visualizado como um conjunto de opções reais. O gestor pode expandir ou prolongar um projeto de investimento, a depender das condições do mercado se forem mais favoráveis que o esperado; pode reduzi-lo ou abandoná-lo, caso os resultados sejam piores que o previsto inicialmente (Copeland & Antikarov, 2001). Todas essas opções permite uma maior flexibilidade ao projeto, o que possibilita, o gestor, uma maior capacidade em reagir às mudanças ocorridas no mercado, sejam estas desfavoráveis ou não.

É importante ressaltar que a maior dificuldade na aplicação das opções reais consiste na modelagem dos fatores que afetam os riscos decorrentes das incertezas. As incertezas que serão modelas estão relacionadas aos fatores que afetam o retorno do projeto. A proposta deste trabalho consiste em apresentar aplicação da teoria de opções reais, como instrumento de avaliação de investimentos para analisar o caso de uma Central Termelétrica. Para elaboração do trabalho, foi realizado um estudo de caso de uma usina termelétrica á gás natural, que utiliza tecnologia de ciclo combinado.

## 2 Usinas Termelétricas a Ciclo Combinado

A inserção do gás natural na matriz energética nacional juntamente com a necessidade de expansão do parque gerador de energia elétrica e o esgotamento dos melhores potenciais hidráulicos do país, tem centrado o interesse de analistas e empreendedores em expandir o uso da geração termelétrica a gás. (MENDES, 2007)

Em 1970, teve início a grade expansão do mercado de geração de eletricidade com o desenvolvimento da tecnologia a ciclo combinado. Porém, foi em 1990, por meio de Wnocr, Davidson e Keely, que a nova tecnologia ganhou notoriedade com expressiva quantidade de instalações de plantas Térmicas de ciclo combinado, a qual utiliza o gás natural como combustível para a geração de eletricidade em Centrais de grande porte. (DENG, 1999)

No ciclo Rankine, o vapor é gerado a partir da diferença de temperatura. Essa temperatura gerada pelos gases no processo de combustão encontra-se na faixa de 1000-1300 °C, porém a temperatura de vapor é de 500-550°C. O ciclo combinado é formado pela combinação de um ciclo simples com uma turbina a gás (Ciclo Brayton) com um ciclo simples a vapor (Ciclo Rankine). Dessa forma, um sistema em ciclo combinado possui um maior aproveitamento energético da energia inicial contida no combustível. Este aproveitamento é obtido por meio do rearranjo em cascata energética de ambos os ciclos.

A cascata energética é formada a partir da inserção de um ciclo Brayton (ciclo a gás) para conseguir trabalho, ao invés de usar grandes diferenças de temperaturas em um processo de troca. Assim, minimiza a ineficiência termodinâmica natural de troca de calor pela diferença finita de temperaturas entre fluidos quentes e frios.

Nos últimos 40 anos ocorreram um grande desenvolvimento em termos de eficiência, em relação às instalações de turbinas a gás e Centrais de Ciclo combinado. Nesse sentido, a construção de turbinas a gás industriais comerciais pode gerar energia elétrica da faixa de capacidade entre 100-250MW por unidade, com eficiência térmica em ciclo simples, em 40%. Por outro lado, as instalações em ciclo combinado em máquinas como: *Enarjja, em Applied Thermal Energy*, a eficiência em geração pode chegar a 55%.

## 3 Teoria das Opções Reais

Com a desregulamentação da indústria de energia elétrica em vários países, a demanda por modelos de avaliação de ativos reais e ferramentas de gerenciamento de risco aumentou consideravelmente. Nessa seção, serão apresentados alguns resultados de um modelo proposto para avaliar ativos de geração termelétrica no Brasil. Nesta seção, modelos de opções reais, os

tipos de flexibilidade gerencial serão abordados como, a opção de espera e a opção de suspensão temporária, serão abordadas.

A teoria das opções reais foi criada como analogia às opções financeiras, isto é, um direito sem obrigação de exercer opção. O termo foi utilizado por Myers (1997) ressaltando que as oportunidades de expansão de novos investimentos podem ser vistas como sendo semelhante às opções de compra, celebradas no mercado financeiro. Dando início a nova abordagem para análise de investimento conhecida com opções reais, sendo que a primeira aplicação dessa abordagem realizada por TOURINHO (1979).

Desse modo, um projeto de investimento é representado como um conjunto de opções reais. Dentre as opções reais mais comuns existentes em projetos de investimentos temos opções de diferir, contrair, expandir, fechar temporariamente, abandonar, alterar usos (entradas e saídas) e opções de crescimento (TRIGEORGIS, 1995).

As flexibilidades nas decisões gerenciais não são abordadas pela tradicional metodologia usadas pela maioria das empresas, trata-se da abordagem do fluxo de caixa descontado (FCD). A diferencial principal da teoria das opções reais (TOR) é a inclusão da incerteza e da flexibilidade na análise de viabilidade dos investimentos. Assim, a TOR é apontada como uma metodologia moderna e abrangente. Dixit & Pindyck (1995). O valor Presente Líquido (VPL) subestima o valor total do projeto, pois não leva em conta o valor de suas eventuais flexibilidades gerenciais. O valor da opção é dado por:

$$VOR = VPL_{c/Flexibilidade} - VPL_{s/Flexibilidade} \quad (1)$$

Assim, com nas opções financeiras, as opções reais dependem de seis variáveis básicas, as quais são:

- **Valor do Ativo subjacente sujeito ao risco (S)**- trata-se de um projeto, um investimento e sua aquisição.
- **Preço de exercício (x)**- é o montante necessário que deve ser investido para realizar a opção.
- **Prazo de vencimento da opção (T)**- é o tempo dependente entre a aquisição da opção e seu exercício. Com o aumento do prazo de expiração, o valor da opção também aumenta.
- **Desvio padrão do valor do ativo subjacente sujeito a risco ( $\sigma$ )**- corresponde a volatilidade do valor do ativo.
- **Taxa de juros livre de risco (rf)**- é a taxa esperada livre de risco.
- **Dividendos**- são fluxos de caixa descontados futuros produzidos pelo projeto.

### 3.1 Modelo de Black & Scholes e Merton

No artigo de BLACK & SCHOLLES titulado como The Pricing of Options and Corporate Liabilities (1973) encontra-se um modelo matemático de avaliação de opções financeiras. O modelo apresenta duas equações para o cálculo da opção de compra (*Call Option*) e a opção de venda (*Put Option*). Como pode ser visto abaixo:

$$C_{call} = SN(d_1) - K_e^{-rfT} N(d_2) \quad (2)$$

$$C_{put} = K_e^{-rfT} N(-d_2) - SN(-d_1) \quad (3)$$

$$d_1 = \frac{\ln(S / K) + (rf + \hat{\sigma}^2 / 2)T}{\hat{\sigma}\sqrt{T}} = \quad (4)$$

$$d_2 = \frac{\ln(S / K) + (rf - \hat{\sigma}^2 / 2)T}{\hat{\sigma}\sqrt{T}} = d_1 - \hat{\sigma}\sqrt{T} \quad (5)$$

Onde:

S - Valor corrente do ativo subjacente.

K - Preço de exercício da opção.

T - Prazo de exercício da opção.

$d_1, d_2$  - Distribuição log normal.

$N(d_r)$  - Função de distribuição normal acumulada.

Rf - Taxa de retorno livre de risco.

$\hat{\sigma}$  - Volatilidade do retorno do ativo subjacente

A maior parte das opções financeiras pode ser avaliada pelo modelo Black & Scholes, entretanto, esta metodologia apresenta algumas limitações par o estudo de opções reais, já que são mais complexas. De acordo com Copeland & Antikarov (2001). Segue abaixo algumas limitações e complicações do modelo:

- Existe apenas uma fonte de incerteza;
- A opção só pode ser exercida no vencimento;
- A opção está embasada em um único ativo subjacente sujeito a risco, pago, as opções compostas estão excluídas;
- O preço de mercado corrente e o processo estocástico seguido pelos ativos subjacentes são observáveis;
- O preço de exercício é conhecido e constante;

- A variância do retorno sobre o ativo subjacente é constante ao longo do tempo.

### 3.2 Árvore Binomial

A construção da árvore binomial é um dos modelos mais usuais para se analisar opções que pode ser conceituada como a reprodução gráfica do comportamento de certo ativo ao longo do prazo de exercício da opção. Essa metodologia foi sugerida inicialmente em 1979 por Cox, Ross e Rubinstein, como uma alternativa ao modelo Black & Scholes, e origina-se da premissa de que o preço do ativo segue um Movimento Geométrico Browniano (MGB), e que, a cada intervalo de tempo, existem dois movimentos possíveis: um de subida e outro de descida, determinados por suas probabilidades individuais (COX *et. al.*, 1979).

Presumindo que “S” seja o preço do ativo hoje. Durante um intervalo de tempo “t”, que é o tempo de expiração da opção, na data de vencimento o preço desse ativo pode assumir dois valores, em relação ao movimento observado, isto é, o valor do ativo pode aumentar ou reduzir, representado pelos parâmetros “u” ou “d”, ocorrendo um movimento de subida ou descida, respectivamente. (TRIGEORGIS, 1995).

Desse modo, “p” é definido como a probabilidade de ocorrer os movimentos de subida e “1-p” como a probabilidade de ocorrer os movimentos de descida, sendo o retorno desse ativo equivale à taxa livre de risco. Nesse contexto, a premissa adotada para o modelo é a da análise neutra ao risco, pela qual os fluxos de caixa futuros são trazidos ao valor presente pela taxa livre de risco, desde que o ajuste ao risco seja ponderado pelas probabilidades “p” e “1- p”. Neste trabalho, optou-se pela probabilidade neutra a risco que consiste em calcular o valor da decisão por meio da equação abaixo:

$$P = \frac{e^{rf(\Delta t)} - d}{u - d} \quad (6)$$

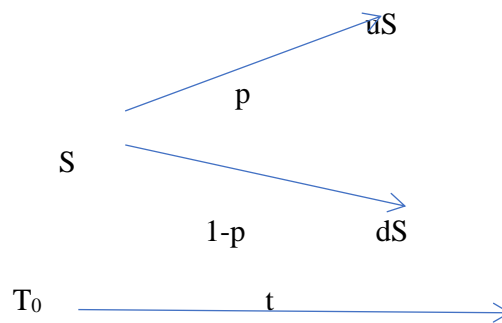
Os fatores dos movimentos de subida e de descida, “u” e “d”, são determinados pela volatilidade “σ” do valor do ativo subjacente e para um dado intervalo de tempo “Δt”. Assim, tem-se que:

$$u = e^{\sigma \Delta t} \quad (7)$$

$$d = e^{-\sigma \Delta t} \quad (8)$$

O valor esperado do ativo (V), no tempo t, é uma função da probabilidade “p” de obter o melhor cenário e “1 – p” ou o pior cenário, representado por uS e dS, como segue abaixo e calculado por

Figura 1 – Arvore Binomial



Fonte: Próprio autor

$$V = p.us + (1 - p).ds \quad (9)$$

O valor do ativo hoje é:

$$S = \frac{p.us + (1 - p)ds}{(1 + r_{wacc})^t} \quad (10)$$

O preço da opção no instante  $t_0$  é dado pela equação abaixo:

$$S = \frac{p.us + (1 - p)ds}{(1 + rf)^t} - K \quad (11)$$

Onde:

Rf - Taxa livre de risco;

Rc - Custo de capital;

K - preço de exercício da opção referenciado ao tempo  $t_0$ .

O modelo da árvore binomial é um modelo discreto no tempo. Permitindo um maior controle a cada passo da árvore, em que o detentor da opção irá fazer a sua escolha e o seu reflexo da decisão sobre o ambiente (DAMODARAN, 2002)

#### 4 Estudo de Caso: Avaliação econômica de uma Termelétrica a gás Natural.

O projeto a ser avaliado trata-se de uma usina termelétrica a gás natural instalada no subsistema, Sudeste. Essa geradora de eletricidade possui turbinas baseado na tecnologia ciclo combinado, que lhe possibilita obter um maior rendimento na transformação de energia térmica em energia elétrica.

##### 4.1 Suposições do modelo: Ambiente de negociação e operação da usina.

- A remuneração do projeto é considerada uma variável aleatória.

- O mercado é considerado incompleto, devendo-se calcular o custo de oportunidade da usina.
- Não existem custos de entrada em operação, quando preços favoráveis são observados.
- Usinas termelétricas podem ser desligadas sem incorrer em custos adicionais, quando preços desfavoráveis são observados.
- O tempo de desligamento e religamento são considerados instantâneos podendo ser desprezados.
- Valor futuro das suas receitas.

## 4.2 Parâmetros do Modelo

Supondo o investimento da construção de uma planta termelétrica a gás natural com o uso de tecnologia a ciclo combinado e que se está decidindo se deve investir no uso desse combustível em detrimento de outras fontes de energia. Apesar da natureza altamente competitiva desse mercado de energia elétrica a vida útil desse tipo de empreendimento é estimada em trinta anos.

Tabela 1 – Parâmetros Utilizados na construção da árvore binomial

Parâmetros para Construção das Árvore Binomiais	
Estágios da Árvore	30
Expiração (anos)	30
Taxa livre de risco	15%
Volatilidade do projeto ( $\sigma$ )	20%
Fator de subida (u)	1,22
Fator de descida (d)	0,81
Probabilidade (p)	0,85
1-p	0,15

Fonte: Elaborado pela autora

## 4.3 Análise Financeira com opções: Processos de Avaliação

A análise financeira com a utilização das opções reais segue um processo dividido em quatro etapas: i) Calcular o valor presente do caso base sem flexibilidade, através do VPL e do TIR; ii) Simular a incerteza por meio de árvore de eventos com o objetivo de compreender como o valor presente do projeto evolui ;iii) identificar e incorporar as flexibilidades administrativas com a criação de uma árvore de decisões com o objetivo de analisar, identificar e incorporar a flexibilidade administrativa para reagir a novas informações; iv) Calcular o valor da opção com o objetivo de determinar se o projeto é aceito ou não.



### ***Construção do Fluxo de caixa***

A primeira etapa de análise é a escolha de um modelo de fluxo de caixa do empreendimento e determinar o VPL. Nesse estudo, o projeto tem um horizonte de estudo de 30 anos.

Tabela 2 – Fluxo de caixa esperado do projeto

<b>ENTRADA (BENEFÍCIO)</b>	
Preço da Energ. MWh /R\$	3.321,94
Produção (MWh)	2.856.870.442,63
TOTAL DAS RECEITAS BRUTAS	370.831.704.120,63
<b>SAÍDA (CUSTO)</b>	
Investimento	192.167,392, 00
Despesas	
Custos Fixos de Operação	6.389.220.000,00
Custos Variáveis de Operação	57.469.603.090,11
Combustível	19.450.171.923,05
Outros custos variáveis de Operação	27.489.273.002,43
Transmissão	104.409.048.015,58
<b>Total dos Custos Variáveis</b>	104.409.048.015,58
Impostos sobre receitas	4.734.300.000,00
<b>LUCRO LÍQUIDO</b>	
VPL	22.108.704.971,74
TIR	38%
TMA (AO ANO)	12%
PAYBACK (ANOS)	9,39

Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados extraídos do *Econservation*, (2017)

Os resultados alcançados na análise tradicional indicam a viabilidade econômica do projeto, apresentando um VPL de R\$ 22.108.704.971,54 (vinte e dois bilhões, cento e oito milhões, setecentos e quatro mil, novecentos e setenta e um real e cinquenta e quatro centavos). A respectiva TIR alcançou 38%, sendo maior que a TMA usada na avaliação do fluxo de caixa, ressaltando a aprovação do projeto. O *Payback* obtido foi de 9,39%.

Considerando que o projeto está sujeito a uma única fonte de incerteza, qual seja o valor futuro das suas receitas. Assumindo que os retornos do projeto são normalmente distribuídos, de forma que o valor do projeto possa ter uma distribuição lognormal, a qual pode se aproximar de uma malha binomial. Nesse sentido, a construção da árvore binomial requer a determinação dos valores de  $u$  e  $d$  como também da probabilidade neutra á risco  $p$ , em correspondência as equações definidas na seção 3.3. O valor do projeto é calculado por meio das etapas-padrão de programação dinâmica incorporados em uma árvore binomial.

Descontando-se os fluxos de caixa esperados á taxa livre de risco. A estruturação do modelo de árvore de decisão pode ser simplificada através do desenvolvimento de modelos de

árvore binomial padrão para qualquer número de períodos. Depois que os parâmetros estocásticos do projeto são determinados e a árvore de decisão construída, as opções do projeto são inseridas com facilidade.

### ***Construção da Árvore Binomial e de Decisão***

A partir do valor da volatilidade, constrói-se a árvore de eventos. O valor inicial da árvore de eventos, ou o valor no ano 1, se refere ao valor presente do projeto (VP) sem considerar o investimento necessário para sua implantação. Este valor é igual a R\$ 20.779.695,55 (Vinte milhões setecentos e setenta e nove mil seiscentos e noventa e cinco reais e Cinquenta e cinco centavos).

A tabela a seguir, mostra uma síntese dos valores calculados para cada parâmetro utilizado na construção das árvores binomial.

Tabela 3 – Parâmetros Utilizados na construção da árvore binomial

<b>Parâmetros para Construção das Árvores Binomiais</b>	
<b>Estágios da Árvore</b>	30
<b>Expição (anos)</b>	30
<b><math>\Delta t</math></b>	1
<b>VP*</b>	20.779.695,55
<b>Taxa livre de risco</b>	15%
<b>Volatilidade do projeto (<math>\sigma</math>)</b>	20%
<b>Fator de subida (u)</b>	1,22
<b>Fator de descida (d)</b>	0,81
<b>Probabilidade (p)</b>	0,85
<b>1-p</b>	0,15

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

O valor obtido ao final da análise da árvore de decisão, para o ano 1, corresponde ao valor presente líquido do projeto com flexibilidade, ou seja, R\$ 308.513.601,1 (trezentos e oito milhões, quinhentos e treze mil, seiscentos e um reais e um centavos).

## **5 Análise de Resultado**

Nesta seção, será aplicando a teoria das opções reais na construção da árvore de eventos, a qual inicia com a estimação da volatilidade do retorno do projeto. Uma vez obtido o VPL do projeto pelo método tradicional, o passo seguinte, consiste em calcular o valor da opção real, o qual se refere ao ganho alcançado pela análise econômica do projeto com a incorporação da avaliação dos riscos e incertezas do projeto em sua análise econômica.

O valor da opção real foi e calculado de acordo com COPELAND & ANTIKARROV (2001), representa o valor da opção da flexibilidade que os gerentes de decisão têm que tomar ao implementar um projeto.

$$VOR = 308.513.601,1 - 207.709.992 = 100.803.609,1$$

È possível observar que o valor da opção aumentou 14 % o valor do projeto, de R\$ 207.709.992,00 para R\$ 308.513.601,1, demonstrando o ganho em expandir o negócio, já que os riscos de mercado e as incertezas encontram-se estimadas e dentro do controle. A tabela abaixo mostrará a síntese dos resultados obtidos pela análise de investimentos com a aplicação da TOR.

Tabela 4- Síntese dos resultados da análise de investimento com o uso da TOR

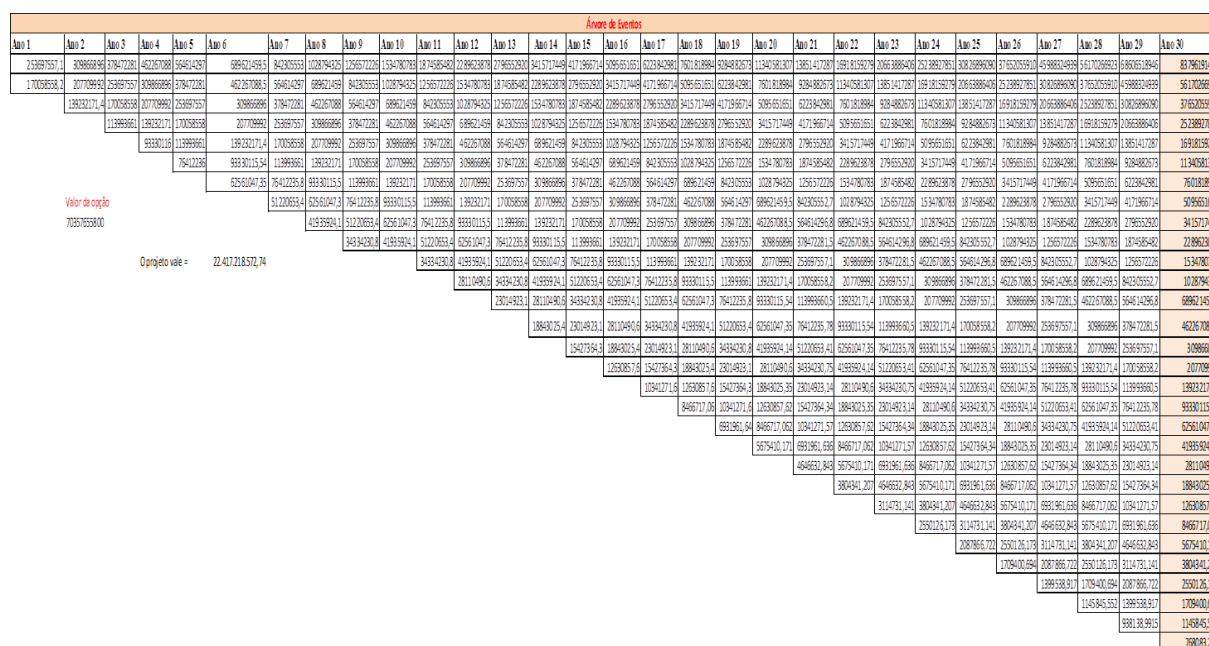
Volatilidade	0,2 %
<b>VPL- Com Flexibilidade</b>	308.513.601,1
<b>VPL-Sem Flexibilidade</b>	207.709.992,00
<b>VOR-Valor da Opção Real</b>	100.803.609,1

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

O resultado expressa uma relação importante da teoria macroeconômica que diz: Quando há um aumento de incerteza na economia, a ação de se investir, não é orientada ou motivada. Tendo em vista, que o mercado trabalha no sentido de se proteger contra riscos.

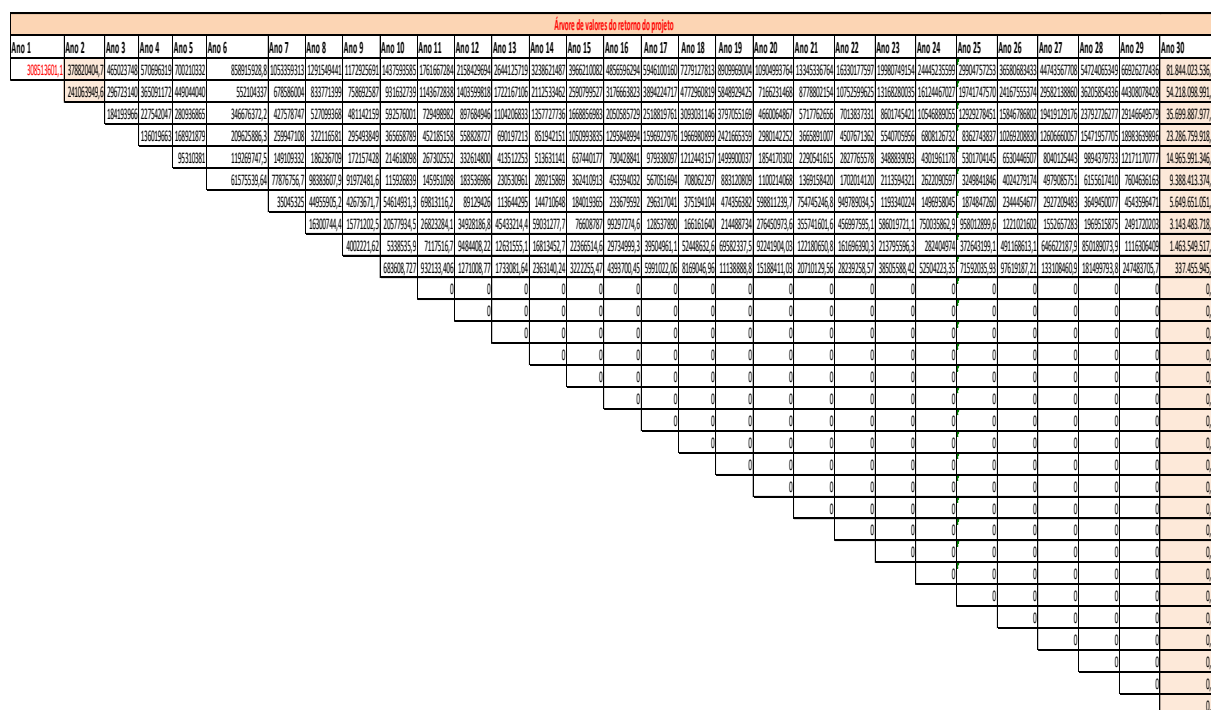
As figuras 2 e 3, apresentam os resultados alcançados pela árvore de eventos e a árvore de valores do retorno do projeto, respectivamente.

Figura 2 – Árvore de eventos



Fonte: Próprio autor

Quando um projeto não possui risco ou incertezas, isto significa que os fluxos de caixa são conhecidos com absoluta certeza, logo, não há valor estratégico das opções reais. Nesse caso, o método de fluxo de caixa descontado é suficiente. Assim, o fluxo de caixa descontado é considerado um caso especial do modelo de opções reais, quando a incerteza é insignificante e a volatilidade se aproxima de zero.



## 6 Conclusão

A proposta deste trabalho foi analisar uma opção de expansão para um investimento em projeto de expansão de uma usina termelétrica a gás natural com uso de tecnologia a ciclo combinado por meio da aplicação da teoria das opções reais. Assim, o primeiro passo foi à construção do FCD do projeto sem flexibilidade. O resultado alcançado por esta métrica foi de R\$ 207.709.992, que representa 17 % do valor total do investimento. O item decisivo nessa avaliação foi a TIR de 38% bastante favorável superando a TMA adotada e viabilizando o investimento. A partir desse resultado, análise tradicional indica que o projeto é viável e deve ser implementado.

Estimada a volatilidade do retorno do projeto, foi calculado o valor da opção real. A análise indicou que o valor da opção de expansão aumentou 14 % o valor do projeto, de R\$ 207.709.992,00 para R\$ 308.513.601,1. Provando, assim, que o melhor caminho a ser tomado é expandir o projeto, tendo em vista que a incerteza permanece estável. Pelas análises expostas acima, conclui-se que, tanto a TOR quanto a análise pelas métricas de risco do VPL, afirmam a viabilidade econômica do projeto em estudo.

Tanto a teoria das Opções reais quanto as análises das métricas de risco do VLP são instrumentos que auxiliam na tomada de decisão, já que incorporam os riscos e as incertezas nas estimativas dos possíveis parâmetros cujo retorno é mais sensível. A análise de opções reais requer o entendimento de como modelar a incerteza (ou os tipos relevantes de incerteza) que interferem no projeto. Dessa forma, a grande limitação, em aplicar a análise de opções reais, consiste na necessidade de estimar a variação dos retornos do projeto.

## Referências Bibliográficas

- BLACK, F.; SCHOLES, M. The pricing of options and corporate liabilities. *Journal of political economy*. v. 81, 1973.
- BREALEY, R.; MYERS, S. C. *Princípios de finanças empresariais*. Portugal, McGraw-Hill, 1992.
- BRENNAN, M.; SCHWARTZ, E. Evaluating natural resource investment. *Journal of business*. April. p. 135-157, 1985.
- CLEWLOW, L.; STRICKLAND, C.; KAMINSKI, V. MAKING. The most of mean revision. Energy power risk management, risk waters group 5(8);(November)2000b.
- COPELAND, T. E.; ANTIKAROV, V. *Opções reais: um novo paradigma para reinventar a avaliação de investimentos*. Rio de Janeiro, Campus, 2001.
- COX, J. C.; ROSS, S. A.; RUBINSTEIN, M. Option pricing: a simplified approach. *Journal of financial economics*. v. 7. p. 229-63, 1979.
- DAMODARAN, A. *The promise and peril of real options*. <http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/pdfiles/papers/realopt.pdf> (Abril/2002), 2002

\_\_\_\_\_. *Avaliação de investimentos: ferramentas e técnicas para a determinação do valor de qualquer ativo*. Rio de Janeiro, Qualitymark, 1997.

DENG, S.; JOHSON, B; SOGOMONIAM, A; “Exotic Electricity Options and the valuation of electricity generation and transmission” Proceedings of the Chicago Risk Management conference, 1999.

DEVISON, B. J. & KEELEY, K. R.. The thermodynamics of partial combined cycles. 1990.

DIAS, M. A. G. *Investimento sob incerteza em exploração & produção de petróleo*. Rio de Janeiro. Dissertação (Mestrado). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. 1996.

DIXIT, A. K.; PINDYCK, R. S. The options approach to capital investment. *Harvard business review*. May-June, 1995.

\_\_\_\_\_. *Investment under uncertainty*. Princeton, Princeton U. P. 1994.

ETHIER, R. G. “Valuing electricity asset in deregulated markets: A Real Options model with mean reversion and jumps” working paper, department of Agricultural, recourse and managerial economics Cornell University, 1999.

FABRINI, Karla Louise; UTURBEY, Wadaed. *Teoria das Opções Reais: Uma Abordagem Estratégica para Análise de Investimento em Expansão do Sistema de Distribuição*. 9th Latin-American Congress on Electricity Generation and Transmission – CLAGTEE, Argentina, 2011.

Formação de um perfil de sazonalização baseada em otimização multiobjetivo. XIX Simpósio de Engenharia de Produção - SIMPEP

GITMAN, L. J. *Princípios de administração financeira*. São Paulo, Harbra. 1997.

HULL, J. *Options, futures and other derivative securities*. Englewood Cliffs: Prentice Hall. 1997.

\_\_\_\_\_. *Introdução aos mercados futuros e de opções*. São Paulo, BM&F/Cultura, 1994

MACDONALD, R.; SIEGEL, D. Option pricing when the underlying asset earns a below equilibrium rate of return: a note. *Journal of finance*. March. p. 261-265, 1984.

MENDES, L. G. Análise de viabilidade econômica de uma usina termelétrica usando modelagem estocástica e teorias das opções reais. Rio de Janeiro, 2007.

MYERS, S. C. Determinants of corporate borrowing. *Journal of financial economics*. n. 5. p. 147-75. Nov. 1977.

PINDYCK, R. S. Irreversible investment, capacity choice, and value of the firm. *American economic review*. v 78, n 5, Dec. 1998.

ROSS, S. A.; WESTERFIELD. R. W.; JAFFE, J. F. *Administração financeira*. São Paulo, Atlas, 1995.

SAMUELSON, P. Proof that properly anticipated prices fluctuate randomly. *Industrial management review*. 1965.

Simões, M. D. P. Gomes, L. L. (2011). Decisão de sazonalização de contratos de fornecimento de energia elétrica no Brasil através da otimização da medida ômega. *Revista Eletrônica de Administração-REAd*, 17:181-203.

TRIGEORGIS, L. *Real options in capital investment: models, strategies and applications*. Westport: Praeger. 1995.

\_\_\_\_\_. A log-transformed binomial numerical analysis method for valuing complex multi-option investment. *Journal of financial and quantitative analysis*. v.23, n. 3. 1991.

TOURINHO, O. The option value of reserves of natural resources. *Working paper n. 94*. University of California at Berkeley, 1979.

WINSEN, J. K. “Real Options and the valuation of generation assets: an Australian national electricity market. Example” chapter 6, the new power markets corporate strategies for risk and reward risk books, 1999.